

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 58-168026

(43)Date of publication of application : 04.10.1983

(51)Int.Cl.

G02B 9/02

G02B 3/00

// G02B 27/10

(21)Application number : 57-050342

(71)Applicant : AGENCY OF IND SCIENCE &amp; TECHNOLOGY

(22)Date of filing : 29.03.1982

(72)Inventor : KIKUCHI KEISUKE

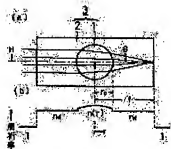
## (54) EMBEDDED TYPE SPHERICAL LENS HAVING DISTRIBUTED REFRACTIVE INDEX

(57)Abstract:

PURPOSE: To realize a tight construction monolithic with another optical element, by embedding a spherical core whose refractive index decreases from the center to the circumference according to the square of distance in a circumferential medium whose refractive index is selected depending upon at least center refractive index and the secondary and quadratic values of coefficients of distribution.

CONSTITUTION: The spherical core 1 whose refractive index decreases according to the square of distance from the center to the circumference is embedded in the circumferential medium 2 whose refractive index is selected depending upon at least its center refractive index  $n(o)$  and secondary and quadratic coefficients  $G2$  and  $G4$  of distribution. The relation between  $n(o)$ ,  $G2$  and  $G4$ , and refraction distribution  $n(r)$  is expressed by an equation where  $r0$  is the radius of the spherical core 1. Consequently, the distribution of refraction is controlled easily to obtain a lens having less spherical aberration and tight unification with other optical elements such as an optical fiber is enabled. The spherical core has small refractive index in the spherical boundary surface and loss is reduced. Thus, a lens for microoptics which is strong and has high performance, many functions, and high reliability is obtained.

$$n(r) = n(o) \left( 1 - G_2 \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 + G_4 \left( \frac{r}{r_0} \right)^4 \right)$$



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]



① 日本国特許庁 (JP)

① 特許出願公開

## ③ 公開特許公報 (A)

昭58—168026

⑥ Int. Cl.<sup>3</sup>  
G 02 B 9/02  
3/00  
# G 02 B 27/10識別記号  
庁内整理番号  
6952—2H  
7448—2H  
8106—2H③ 公開 昭和58年(1983)10月4日  
発明の数 1  
審査請求 有

(全 7 頁)

## ④ 埋め込み型分布屈折率球レンズ

④ 特 願 昭57—50342

④ 出 願 昭57(1982)3月29日

特許法第30条第1項適用 昭和56年10月9日  
福井大学において開催された'81秋期第42回  
応用物理学学会学術講演会で発表

## ④ 発 明 者 菊地啓介

茨城県新治郡桜村梅園1丁目1  
番4号電子技術総合研究所内

## ④ 出 願 人 工業技術院長

④ 指定代理人 工業技術院電子技術総合研究所  
長

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

埋め込み型分布屈折率球レンズ

## 2. 発明の概要

(1) 中心から周辺に向つて距離  $r$  の2乗で屈折率が減少している球を、少なくともその中心屈折率  $a_0$  と分布係数の2次、4次の値  $Q_2$ 、 $Q_4$  に対応して決定された屈折率の周面線画に埋め込んだことを特徴とする埋め込み型分布屈折率球レンズ。

ただし、前記  $a_0$ 、 $Q_2$ 、 $Q_4$  と屈折率分布  $a(r)$  の関係は前記球の半径を  $r_0$  として

$$a^2(r) = a^2 \left[ \left( 1 + Q_2 \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 + Q_4 \left( \frac{r}{r_0} \right)^4 \right) \right]$$

で表わされるものとする。

(2) 周面線画の表面は平面であることを特徴とする特許請求の範囲第(1)項記載の埋め込み型分布屈折率球レンズ。

(3) 周面線画の表面は曲面であることを特徴とする特許請求の範囲第(1)項記載の埋め込み型分布屈折率球レンズ。

(4) 球石は複曲面からなることを特徴とする特

許請求の範囲第(1)項記載の埋め込み型分布屈折率球レンズ。

## 3. 発明の詳細な説明

この発明は、球面収差を補正すると同時に他の光学素子と密着して一体化することとを可能とする構造を備えた埋め込み型分布屈折率球レンズに関するものである。

光通信、光情報処理、医療の分野ではレーザ光をコリメートし、また、集光するための高性能な小径レンズ、いわゆるマイクロオプティクス用のレンズが不可欠である。この要求を満たすべく、先に球対称分布屈折率球石、分布に応じた厚さの球殻状クラッドとコア状クラッドとを被せ、球面収差を補正すると同時に、コア部を介して他の光学素子との密着一体化を可能とする不均質屈折率レンズを提案した(特願昭56—66612号参照; 以下先願という)。これは球石の屈折率こう配のみならず球殻状クラッドの球表面のレンズ作用を利用しているので、開口数 NA が 0.45 程度の大径のものが得られ、光ディスク用ビ

タフプレズへの応用などにも通じていた。しかし、開口数NAを大きくするために、構造的に幾分複雑になり、厚さが一般的な球状タフプレズを製作することが製作上最も難しいことであつた。

ところで、光通信用結合レンズ、すなわち、光ファイバと他の光学素子などを結合するレンズについて考えて見ると、光ファイバの開口数NAは高々0.2程度であり、必ずしも先述のレンズのような開口数NAの高いものを使用する必要はなく、球状タフプレズを取り替へ、代りロッド状タフプレズを付けた簡易レンズが適用できるものである。また、ロッド状タフプレズのみにするることによつて、他の光学素子との一体化に關しては一層自由度を増したものに成る。

この発明は、上記の点にかんがふなされたもので、その目的として、開口数NAを光ファイバの開口数NAより幾分多めの0.3程度とし、球面横収差がシングルモード光ファイバ(以下SMFという)のコア径内に収まる程度の数 $\mu\text{m}$ で、他の光学素子との密着による一体化を、先述レンズの

ものよりも完全に行えるようにし、したがつて構造的に堅固で、表面の境界反射による損失を少なくし、しかも製作を容易にし、光通信、光情報処理、レーザ顕微鏡へ利用される場合、高性能で高信頼性を有するレンズを量産性よく提供するものである。

さて、この発明のレンズの基本的な構成を第1図(a)に示す。この図において、1は球対称屈折率分布の球芯で、均一屈折率の周囲媒質2に包み込んだ球レンズ3としたものであり、屈折率の関係を第1図(b)に示す。な $m$ 、従来、均一屈折率球を他の周囲媒質に包み込んだBullseye(Buried Sphere Lens)が周知されている。これは、他光学素子との一体化に關しては非常に優れたレンズであるが、表面収差が非常に大きい欠点があつた。

そこで、この発明においては、屈折率が中心から周辺に向つて距離の $1/2$ 乗で減少する球芯1を包み込むこととなるが、任意の屈折率を有する周囲媒質2では未だ球面収差が残る、屈折率分布 $n(r)$ のある周囲のもので、かつ分布に応じて適は

れた屈折率 $n_4$ の周囲媒質2に於てはじめて $\mu\text{m}$ オーダーの球面横収差にすることが可能となる。なお、 $r_0$ は前記球芯1の半径、 $f$ は前記球芯1の中心から焦点までの距離で、ここでは周囲媒質2の端面に焦点を位置させている。また、 $H$ は入射高、 $r$ は半径方向の距離、 $\theta$ は出射角を示す。

第2図は第1図の光学系で、入射する平行光を焦点する場合の入射高 $H/r_0$ と(横収差/ $r_0$ ) $\times 10^4$ との関係を、球芯1の4次分布係数 $G_4$ と周囲の周囲媒質2の屈折率 $n_4$ の組をパラメータに示した図である。この図において、4次分布係数 $G_4 = -0.016$ 、屈折率 $n_4 = 1.45$ で収差は最小に成っている。なお、曲線IIは $G_4 = -0.032$ 、 $n_4 = 1.46$ 、曲線IIIは $G_4 = 0$ 、 $n_4 = 1.44$ の場合であり、いずれも $NA = 0.3$ 、 $n(n) = 1.5$ 、 $G_2 = -0.1$ としている。ここで球芯1の屈折率分布 $n(r)$ として、 $n'(r)$ を次の多項式で表わしている。

$$n'(r) = n'(a) \left( 1 + G_1 \left( \frac{r}{r_0} \right)^2 + G_2 \left( \frac{r}{r_0} \right)^4 + \dots \right) \quad (1)$$

このように収差を小さくできる球芯1の各分布

係数 $G_1$ 、 $G_2$ の範囲を第3図に示す。この図で、実線は屈折率 $n_4$ 、一点鎖線は(横収差/ $r_0$ ) $\times 10^4$ 、点線は $f/r_0$ であり、 $NA = 0.3$ 、 $n(n) = 1.5$ とした。

与えられた各分布係数 $G_2$ 、 $G_4$ に対して、それを座標とする点を通るパラメータ(変数)に周囲媒質2の屈折率 $n_4$ を適応と、同じくこの点を通る収差値(一点鎖線)で示される横収差に成ることを意味している。ここで横収差は、出射角 $\theta = 0 \sim \sin^{-1} NA$ の間の横収差を第2図のよう $K$ 正負バランスさせたときのピークで示している。また、(横収差/ $r_0$ ) $\times 10^4$ の値で記している。で、 $r_0 = 1 \text{ mm}$ のレンズとして図に記した値が $\mu\text{m}$ 単位の横収差を与える。

第3図より横収差 $< 2 \times 10^{-4} r_0$ のレンズを屈折率差5% ( $G_2 = -0.1$ )の球芯1で実現するに、4次分布係数 $G_4$ を $-0.025 < G_4 < -0.005$ に制御すればよい。

さて、この制御の簡易を知るために、ガラスに屈折率分布を付けるイオン交換法で予想される



さて、以上はこの発明による球レンズの基本形  
Kについて球面収差を少なくするための球石1、周  
面厚質2の屈折率 $n$ の関係を述べてきたが、次に  
当レンズを用いた光回路の構成例を示す。

第8図(a)、(b)、(c)は、先フアイバ4の周  
に他の光学素子を入射するための球レンズ3を示  
すもので、先フアイバ4と球レンズ3は密着一体  
化され、2個の球レンズ3の間隔は入射する光学  
素子の長さに応じて自由に選ぶことができる。光  
学素子の形状によつてはそれをも一体化できる。  
球レンズ3の開口数NAは0.3程度、SMPであ  
る先フアイバ4の開口数NAは0.1程度であるか  
ら、球レンズ3に余裕があり、第8図(a)、(b)  
のように多数の先フアイバ4が1組の球レンズ3  
を共用することができる。第8図(a)では多重度  
は7程度とれ、間隔での光ビームを互いに平行に  
できることが長所である。  
第8図(b)では、先フアイバ4からの光ビームが  
2個の球石1をはすれない範囲で先フアイバ4を  
並べられるだけの多重度がとれる。例えば、球石

1の半径 $r_1=1\text{mm}$ 、球石1間の間隔 $L=10r_1$ 、  
球レンズ3、先フアイバ4の開口数NAをそれぞ  
れ0.3および0.1、先フアイバ4の外径を $50\text{ }\mu\text{m}$   
として、約3.00Kになる。しかし、間隔部分で互  
いに交叉ビームになるので、その影響を受けない  
径路に限定される。なお、第8図(b)では先フ  
アイバ4と球レンズ3との密着面は球面にし、中心  
軸を離れた先フアイバ4からの光線も間隔で平行  
ビームになるようにしている。先屈のレンズの場  
合と異なり、この球面のレンズ作用は利用してい  
ない。

第8図(c)は間隔部分をプリズム角で対面さ  
せ、空気層が入つても反射損失をなくしようとし  
たものである。第8図(d)はプリズム5の全反射を  
利用したもので、プリズム5を矢印方向に出入り  
させるように構成した光スイッチである。また、  
第8図(e)は屈折率 $n$ を一体化して多波長を含  
む先フアイバ4からの各波長の光を分ける分岐器。  
あるいは逆に多波長の光を一本の先フアイバ4に  
合流させる合流器と見ることもできるものである。

第8図(f)は球レンズ3に干渉フィルタ7、7b  
や反射鏡8を組み合わせた第8図(a)と同じく分  
岐(合流)器である。多波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ を  
含む先フアイバ4からの光を球石1で平行ビーム  
とし、反射鏡8で反射させた後、波長 $\lambda_1$ の光の  
み透過させる他の波長の光を反射させる干渉フィル  
タ7aに入射させ、透過した波長 $\lambda_1$ の光は球石  
1の一部を使って集光され、先フアイバ4に  
注入される。干渉フィルタ7aで反射した波長 $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ の光は、反射鏡8で反射させた後、今度は  
波長 $\lambda_1$ のみ透過させ波長 $\lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ を反射させ  
る干渉フィルタ7bに入射させ、透過した波長 $\lambda_2$   
の光は球石1の裏面とは別な部分を通して集光  
させ先フアイバ4bに注入する。以下同様にして、  
波長 $\lambda_3, \lambda_4$ も分離される。

上述の分岐器は光線方向を逆に見ると合流器に  
なる。第8図(f)の実施例はその断面に垂直な断面  
が、第8図(g)に示す上方向のものや、第8図(h)に  
示す円柱状のものが考えられ、第8図(n)では同一  
球石列(断面と垂直方向に複数個配列されている)

を共通に放射状に用い、多チャンネル分岐(合流)  
器の構成ができる。なお、符号7は干渉フィルタ  
を総称して示している。

第8図(i)は1個の球石1で第8図(f)の実施例と  
等価な分岐(合流)器を構成したものである。底  
面に垂直な断面は第8図(j)または(k)に示すよう  
に構成することができる。各円柱状、球状のもの  
であり、後者は第8図(n)と同様に多チャンネルの  
構成ができる。以上いずれも球レンズ(球石1)  
の対称性と開口数NAがSMP(先フアイバ4)  
に比べて余裕があることを利用している。

第8図(j)は2個の球石1を並めたカプセル状保  
護を要素11として多数個を球状端子12でつな  
いだフレキシブルな光パワー伝送路である。要素  
11間の接点面11'には導電性潤滑油が塗布され  
ている。第8図(k)は第8図(j)の実形で球状体の周  
面厚質13に包んだ球石1の列で、球状端子12  
で必要な間隔を保ち、かつ、フレキシブルにして  
いる。これらの伝送路の先端における対応する部  
分との相違は、厚質境界の屈折率収差が小さいた

め反射損が著しく少ないことである。したがってレーザースなどのフレキシブル部として高性能が期待できる。

以上詳細に説明したように、この発明は中心から周辺に向つては距離の2乗で屈折率が減少している媒質を、少なくとも中心屈折率  $n_0$  と、分布係数の2次、4次の値  $Q_2, Q_4$  に応じて球面収差を極小にする屈折率の周屈折率に込め込んで構成したので、下記に述べる利点を有する。

- (i) 屈折率分布の制御を容易にして、球面収差の少ないレンズが得られる。数値例で示すと、開口数  $NA$  が0.3で収差  $\leq 4 \mu m$  の球レンズを、球芯の半径  $r_0 = 1mm$  で実現する  $K$  は、イオン交換時間を全時間の  $\pm 10\%$  で制御し、周屈折率は屈折率  $\pm 0.4\%$  の精度で過ればよい。
- (ii) 光ファイバをはじめ他の光学素子との密着一体化を可能にする。
- (iii) 球芯の球対称性と余裕のある開口数を利用して多重度の高い使用ができる。

図中、1は分布屈折率の球芯、2は周屈折率、3は球レンズ、4、4a~4dは光ファイバ、5はプリズム、6は屈折格子、7、7a~7dは干渉フィルタ、8は反射鏡、11は要素、12は球面手、13は媒体屈折率である。

指定代理人 電子技術協会研究所 等々力



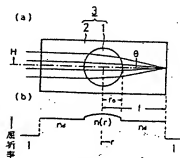
例 屈折率の境界面での屈折率差が小さく、損失が低減できる。

(iv) 上記により要図で高性能、多機能、高信頼性のマイクロプロセッサ用レンズが提供できる。

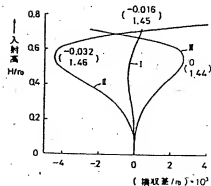
#### 4. 図面の簡単な説明

第1図(a)はこの発明の基本的構成を示す図。第1図(b)は各部の屈折率を示す図。第2図は第1図における入射角と収差の関係を示す図。第3図は球芯の2、4次分布係数が与えられたとき球面収差を極小にするための周屈折率の屈折率を決め、あわせて透過率収差、焦点距離を求めるための図。第4図はイオン交換で与えられる球芯の分布係数を規格化換算時間に対して求めた図。第5図は6次分布係数まで考慮して収差を小さくできる範囲の  $Q_2 \sim Q_6$  を示した図。第6図は周屈折率の屈折率の選定に対するトレランスを示す図。第7図(a)、(b)は球芯の分布係数の測定に対するトレランスを示す図。第8図(a)~(m)はいずれもこの発明の実施例をそれぞれ示す図である。

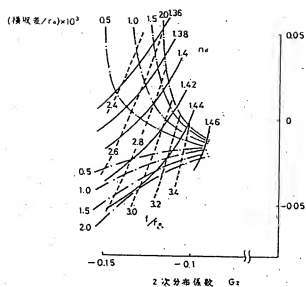
第 1 図



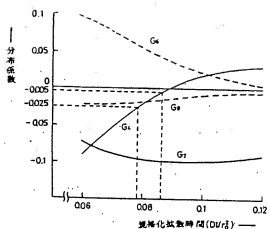
第 2 図



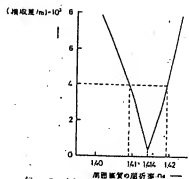
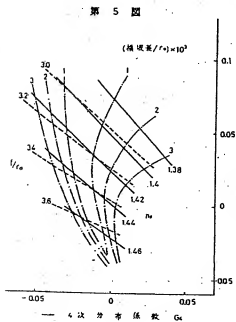
第 3 圖



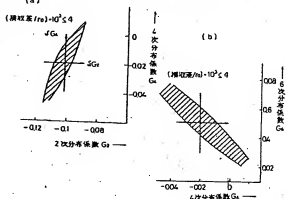
第 4 圖



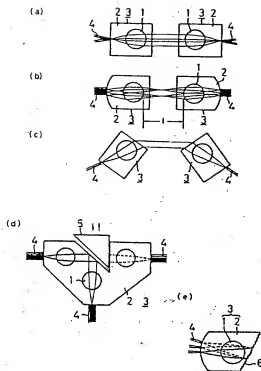
第 5 圖



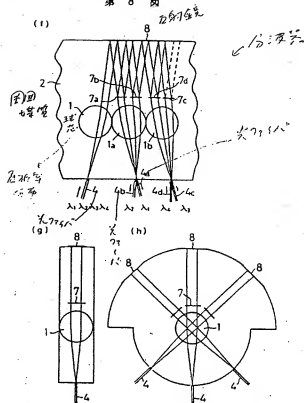
第 7 圖



第 8 図

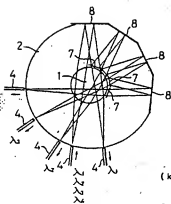


第 8 図



第 8 図

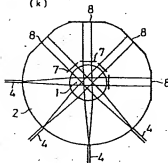
(i)



(j)

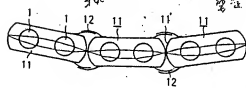


(k)



第 8 図

(l)



(m)

